

PCT/EP

09/868251  
99/09966

BUNDESPUBLIK DEUTSCHLAND

EP 99 / 9966



EJU

REC'D 27 JAN 2000
WIPO PCT

## Bescheinigung

Die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung eV in München/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Gesteuerter akustischer Wellenleiter zur Schalldämpfung"

am 15. Dezember 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol G 10 K 11/178 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 5. Januar 2000

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident  
Im Auftrag

Aktenzeichen: 198 61 018.1

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



## **Gesteuerter akustischer Wellenleiter zur Schalldämpfung**

### **1. Gegenstand der Erfindung**

Die Erfindung betrifft einen gesteuerten akustischen Wellenleiter zur Schalldämpfung nach Art einer langgestreckten Hohlkammer, der über eine Öffnung an seiner ersten Stirnseite mit einem schallführenden Kanal verbunden ist und dessen Längsresonanzen auf ein zu dämpfendes Schallspektrum abstimmbare sind, indem mittels eines Mikrofons, das sich unmittelbar vor der Membran mindestens eines Lautsprechers an der zweiten Stirnseite der Hohlkammer befindet, die Membranschwingungen erfaßt werden und das Mikrofonsignal mit einem Verstärker invertiert und in Abhängigkeit von einem den Schall im Kanal charakterisierenden Signal eines Sensors verstärkt an den Lautsprecher rückgekoppelt wird.

### **2. Stand der Technik**

Zur Dämpfung von tieffrequentem Lärm in Kanälen sind Schalldämpfer bekannt, bei denen die Längsresonanzen langgestreckter Hohlkammern, sogenannter akustischer Wellenleiter, ausgenutzt werden, z.B. nach DE 19612572, oder Lamancusa; J.S.: An actively tuned passive muffler system for engine silencing. Proceedings Noise-Con 87, 1987, S. 313-318. Diese Wellenleiter sind über eine stirnseitige Öffnung an den schallführenden Kanal angekoppelt und stehen entweder senkrecht vom Kanal ab oder schmiegen sich parallel laufend an diesen an. Insbesondere bei der ersten Längsresonanz, bei der die Kammerlänge einem Viertel der Wellenlänge der Resonanzfrequenz entspricht, werden schmalbandig hohe Dämpfungen erreicht. Diese Begrenzung des Frequenzbereiches ist jedoch problematisch, wenn entweder eine breitbandige Dämpfung gefordert ist oder sich das bei der Dimensionierung des Wellenleiters zugrunde gelegte Lärmspektrum ändert. Die notwendige Anpassung der Kammerlänge wird in Lamancusa zumindest stufenweise realisiert, indem von vornherein sehr lange Kammern mit Unterteilungen vorgesehen sind, die bei Bedarf geöffnet bzw. geschlossen werden können. Eine andere Möglichkeit, die nachteilige Schmalbandigkeit zu umgehen, ist die

gleichzeitige Verwendung unterschiedlicher Kammerlängen nach US 19612572.

Eine weitere Gruppe von Schalldämpfern und -absorbern für tiefe Frequenzen umfaßt Hohlraumresonatoren, d.h. sowohl akustische Wellenleiter nach Okamoto, Y.; Boden, H.; Abom, M.: Active noise control in ducts via side-branch resonators. Journ. of the Acoust. Soc. of America 96 (1994), H. 9, S. 1533-1538, als auch Helmholtz-Resonatoren nach DE 4226885, oder US5233137, die über eine Öffnung mit einem schallführenden Kanal oder Raum verbunden sind und deren Eigenschaften mit elektroakustischen bzw. aktiven Komponenten verändert werden. Diese Systeme verbindet die Vorgehensweise, daß sich mindestens ein Mikrofon im Kanal oder Raum befindet. Das damit erfaßte Schalldrucksignal dient nach einer Filterung, Verstärkung und weiteren Analyseschritten als Regelgröße für mindestens einen Lautsprecher im Wellenleiter oder Hohlraum. Im Ergebnis strahlt der Lautsprecher ein Signal ab, das sich, wiederum nach seiner Modifikation durch den Resonator, mit dem Schall am Ort des Mikrofons im Kanal oder Raum gegenphasig überlagert und dadurch eine Schalldämpfung bewirkt. Durch diese aktiv beeinflussten Resonatoren können einerseits bei tiefen Frequenzen hohe Schalldrücke erzeugt und damit auch gedämpft werden, und andererseits ist zumindest der Lautsprecher vor möglichen z.B. thermischen Belastungen im Kanal geschützt. Nachteile dieser Verfahren bestehen in der festgelegten Dimensionierung der Resonatoren, unabhängig von möglichen Änderungen des ursprünglich zugrunde gelegten Schallspektrums im Kanal, sowie im fehlenden Schutz des Mikrofons.

Anstelle der bislang erwähnten Hohlraumresonatoren wird in DE 4027511 ein passives Subsystem verwendet, das vorzugsweise aus passiven Absorberschichten und schützenden Deckschichten besteht. Auch hierbei richtet sich die Funktion der rückseitig angebrachten elektroakustischen Komponenten auf die Modifikation des passiven Absorbers mit dem Ziel, an dessen Vorderseite eine theoretisch optimale akustische Impedanz zu erzeugen, die möglichst hohe Ausbreitungsdämpfung im angeschlossenen schallführenden Kanal verspricht. Dieses Verfahren setzt voraus, daß ein in der DE 4027511 vorgeschlagener Signalformer erstens das Eigenverhalten aller elektroakustischen Komponenten (Mikrofon, Lautsprecher, Box, etc.) kompensiert und zweitens dem System die gewünschte Abschlußimpedanz



aufprägt. Es wurden die Eigenschaften der Komponenten gründlich untersucht und beschrieben. Danach sind zur Umsetzung dieses Verfahrens zwangsläufig komplexe und in der Praxis nur näherungsweise realisierbare Übertragungsfunktionen des Signalformers zu implementieren.

Gänzlich ohne zusätzliche passive Schichten oder Resonanzsysteme kommen reaktive Schalldämpfer nach WO 97/43754 aus, bei denen die Membran eines Lautsprechers unmittelbarer Bestandteil der Wand eines schallführenden Kanals ist und die mittels einer Rückkopplungsschaltung geregelt bzw. verstärkten Membranschwingungen das Schallfeld im Kanal direkt beeinflussen. Die auch hier notwendige Anpassung an ein zu dämpfendes Schallspektrum beruht auf der Dimensionierung des Resonanzsystems bestehend aus Membranmasse und der dahinter befindlichen Luftfeder in Gestalt des Rückvolumens.

Aufgabe der Erfindung ist es den Wirkungsgrad der Schalldämpfung in Kanälen o.ä. zu verbessern und die Herstellkosten der erfindungsgemäßen Vorrichtung zu verringern.

Diese Aufgabe wird durch die Vorrichtung nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

### 3. Beschreibung

Der Ausgangspunkt des erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiters nach Fig. 1 besteht in einer langgestreckten Hohlkammer (1) mit ausgeprägten Längsresonanzen, die über eine Öffnung (2) an der ersten Stirnseite (3) mit einem schallführenden Kanal (4) oder Raum akustisch verbunden ist. Die Länge  $L$  der Hohlkammer (1) richtet sich nach dem im Kanal (4) auftretenden Schallspektrum, bei dem die Frequenzen mit der höchsten Schallamplitude betriebsbedingt in einem bestimmten Bereich schwanken, z.B. als Folge einer wechselnden Gastemperatur im Kanal (4). Die Länge  $L$  entspricht in diesem Fall etwa einem Viertel der Wellenlänge der oberen Grenzfrequenz dieses Bereiches. An der zweiten Stirnseite (6) der Hohlkammer (1) befindet sich vor einem weiteren Hohlraum (7) die Membran (8) mindestens eines



Lautsprechers (9), wobei der Hohlraum (7) als Luftfeder und die Membran (8) als flächenhafte Masse ein Resonanzsystem bilden. Unmittelbar vor der Membran (8) ist ein Mikrofon (10) zur Erfassung der Membranschwingungen positioniert. Das Mikrofonsignal liegt am Eingang eines invertierenden Verstärkers (11) mit einstellbarer Verstärkung an, dessen Ausgangssignal zur Ansteuerung des Lautsprechers (9) dient. In Abhängigkeit von der Höhe der Verstärkung ändern sich die Membranschwingungen und damit die akustisch wirksame Länge der Hohlkammer (1), die deutlich (ca. viermal) größer als die tatsächliche Länge  $L$  ist. Die infolge der erhöhten Verstärkung erreichte akustisch wirksame Verlängerung der Hohlkammer (1) bedeutet eine Verschiebung ihrer ersten Längsresonanz zu tieferen Frequenzen, vorteilhafterweise bis zur unteren Grenze des Frequenzbereiches des im Kanal (4) auftretenden Schallspektrums. Die Einstellung der Verstärkung beruht auf dem Steuersignal von mindestens einem zusätzlichen Sensor (12), der eine für die Frequenzen mit der höchsten Schallamplitude im Kanal charakteristische Größe an den Verstärker (11) liefert.

Als Sensor (12) sind beispielsweise Temperaturfühler im Kanal (4), Drehzahlgeber an Ventilatoren, Generatoren oder Motoren sowie Meßglieder für den Gasfluß von Brennern und Abgassystemen zu nennen. Vorteilhafterweise kommt der Sensor (12) ohne einen gesonderten Schutz aus, wie er z.B. bei Mikrofonen in einem Abgassystem erforderlich wäre. Eine beispielhafte, besonders einfache Ausführung des Sensors (12) stellt ein temperaturabhängiger Widerstand dar, der die Temperatur im Kanal (4) erfaßt und gleichzeitig Teil des Rückkopplungszweiges eines an sich bekannten invertierenden Verstärkers (11) ist und dadurch dessen Gesamtverstärkung steuert. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen beziehen die Verwendung spannungs- und stromgesteuerter Verstärker (11) ein und erweitern die Auswahl möglicher Sensoren (12).

Zum Schutz gegen eine mögliche Verschmutzung der Hohlkammer (1) und gegen eindringende heiße Abgase aus dem Kanal (4) befindet sich vor oder hinter der Öffnung (2) zum Kanal (4) eine schalldurchlässige Abdeckung (5) aus Lochblech, Vlies, Folie und dergleichen. In Abhängigkeit von baulichen Gegebenheiten in der Umgebung des Kanals (4) kann die Hohlkammer (1) eine gerade oder gekrümmte Form aufweisen, schräg oder senkrecht vom



Kanal abstecken oder in Längsrichtung am Kanal (4) anliegen. In diesem Fall ist, wie in Fig. 2 gezeigt, eine Wärmedämmschicht (13) zwischen Hohlkammer (1) und Kanal (4) vorgesehen. Bei zu erwartender Erwärmung der Hohlkammer (1) verbessern die in Fig. 2 dargestellten Kühlkörper (14) als Teil der Hohlkammerwand die Wärmeabfuhr ebenso wie eine erzwungene Kühlung (15) nach Art eines Wärmetauschers oder mit sogenannten Peltier-Elementen in der Hohlkammer. Um eine breitbandigere Dämpfung zu erreichen, bilden eine Querunterteilung (16) der Hohlkammer (1) in mehrere unterschiedlich lange Röhren sowie eine absorbierende innere Wandauskleidung (17) der Hohlkammer (1) vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiters (Fig. 3).

Eine beispielhafte Ausführung des erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiters ist in Fig. 4 gezeigt. Die zusammen mit einem konventionellen passiven Dämpfer (18) an der gegenüberliegenden Kanalwand erreichten Dämpfungswerte in Fig. 5 repräsentieren die beiden Grenzfälle im Frequenzbereich in Abhängigkeit von der eingestellten Verstärkung (11). Den geringen Temperatureinfluß auf die Dämpfung des erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiters nach Fig. 4 unterstreicht die Gegenüberstellung der gemessenen Dämpfung bei 20°C und 150°C im Kanal in Fig. 6.

#### **4. Vorteile gegenüber dem Stand der Technik**

Die Vorteile des erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiters gegenüber bestehenden Schalldämpfern beziehen sich auf folgende Merkmale:

- Im Vergleich mit bekannten akustischen Wellenleitern erreicht der erfindungsgemäße gesteuerte Wellenleiter mit geringerem Bauvolumen (Hohlkammern bis ca. viermal kürzer) eine hohe Schalldämpfung bei tiefen Frequenzen.
- Der Frequenzbereich mit hoher Schalldämpfung des erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiters ist aufgrund der Adaptivität an veränderliche Schallspektren auf ca. 2 Oktaven erweitert.
- Der erfindungsgemäße gesteuerte Wellenleiter zeichnet sich durch eine einfache Konstruktion und insbesondere durch eine preiswerte analoge

Verstärkung und Steuerung ohne aufwendige elektronische Filter oder digitale Signalanalyse aus.

- Weiterhin sind alle elektroakustischen Komponenten in der Hohlkammer des erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiters nachhaltig vor Einflüssen durch Strömung, Staub und aggressive Medien im Kanal geschützt.
- Dieser Schutz erstreckt sich ebenfalls auf hohe Temperaturen z.B. in Abgassystemen, da beim erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiter mehrere Möglichkeiten für eine effektive thermische Entkopplung vom Kanal gegeben sind.

## 5. Bilder

Fig. 1: Aufbau des erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiters

Fig. 2: Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiters mit einer Wärmedämmschicht (13) zwischen Hohlkammer (1) und Kanal (4), mit Kühlkörpern (14) als Teil der Hohlkammerwand, mit einer erzwungenen Kühlung (15) nach Art eines Wärmetauschers sowie mit einer absorbierenden inneren Wandauskleidung (17)

Fig. 3: Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiters mit einer Unterteilung der Hohlkammer (1) in mehrere unterschiedlich lange Röhren (16)

Fig. 4: Beispielhafte Ausführung des erfindungsgemäßen gesteuerten Wellenleiters mit einem konventionellen passiven Dämpfer (18) an der gegenüberliegenden Kanalwand (Abmessungen in mm)

Fig. 5: Gemessene Einfügungsdämpfung des beispielhaften gesteuerten Wellenleiters nach Fig. 4 ohne und mit Verstärkung

Fig. 6: Gemessene Einfügungsdämpfung des beispielhaften gesteuerten Wellenleiters nach Fig. 4 mit Verstärkung bei 20°C und 150°C Lufttemperatur im Kanal (4)

Fig. 7: Beispielhafter gesteuerter Wellenleiter mit schräg vom Kanal (4) abstehender Hohlkammer (1)

Fig. 8: Beispielhafter gesteuerter Wellenleiter mit einer an einem gekrümmten Kanal (4) anliegenden Hohlkammer (1)



Fig. 9: Beispielhafte Anordnung mehrerer gesteuerter Wellenleiter an mehreren Seitenwänden eines Kanals (4)

Fig. 10: Beispielhafter gesteuerter Wellenleiter mit aerodynamisch günstiger Gestaltung und Positionierung nach Art einer Mittelkulissee innerhalb eines großen Kanals (4)



## Patentansprüche

1. Gesteuerter akustischer Wellenleiter nach Art einer langgestreckten Hohlkammer (1), der über eine Öffnung (2) an seiner ersten Stirnseite (3) mit einem schallführenden Kanal (4) verbunden ist,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Längsresonanzen der Hohlkammer (1) auf ein zu dämpfendes Schallspektrum abstimmbar sind, indem mittels eines Mikrofons (10), das sich unmittelbar vor der Membran (8) mindestens eines Lautsprechers (9) an der zweiten Stirnseite (6) der Hohlkammer (1) befindet, die Membranschwingungen erfaßt werden und das Mikrofonsignal mit einem Verstärker (11) invertiert und in Abhängigkeit von einem das Schallspektrum im Kanal (4) charakterisierenden Signal eines Sensors (12) verstärkt an den Lautsprecher (9) rückgekoppelt wird.

2. Gesteuerter Wellenleiter nach Anspruch 1

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Öffnung (2) mit einer schalldurchlässigen Schutzabdeckung (5) aus Lochblech, Vlies oder Folien versehen ist.

3. Gesteuerter Wellenleiter nach Anspruch 1 und 2

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Hohlkammer (1) senkrecht oder schräg vom Kanal (4) absteht oder an der geraden oder gekrümmten Kanalwand anliegt.

4. Gesteuerter Wellenleiter nach Anspruch 1-3

**dadurch gekennzeichnet,**

daß sich bei an der Wand des Kanals (4) anliegender Hohlkammer (1) eine Wärmedämmschicht (13) zwischen Kanal- und Hohlkammerwand befindet.

5. Gesteuerter Wellenleiter nach Anspruch 1-4

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Wände der Hohlkammer (1) teil- oder vollflächig mit Kühlkörpern (11) ausgestattet sind.

6. Gesteuerter Wellenleiter nach Anspruch 1-5

**dadurch gekennzeichnet,**

daß sich in der Hohlkammer (1) eine erzwungene Kühlung (15) nach Art von Wärmetauschern oder Peltier-Elementen befindet.

7. Gesteuerter Wellenleiter nach Anspruch 1-6

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Hohlkammer (1) durch eine Querunterteilung (16) in unterschiedliche lange Röhren geteilt ist.

8. Gesteuerter Wellenleiter nach Anspruch 1-7

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Wände der Hohlkammer (1) teil- oder vollflächig mit einer schallabsorbierenden Verkleidung (17) ausgestattet sind.

9. Gesteuerter Wellenleiter nach Anspruch 1-8

**dadurch gekennzeichnet,**

daß als Sensor (12) für das im Kanal (4) auftretende Schallspektrum Temperaturfühler, Drehzahlgeber sowie Meßglieder für den Gasfluß von Brennern und Abgassystemen verwendet werden.

10. Gesteuerte Wellenleiter nach Anspruch 1-9

**dadurch gekennzeichnet,**

daß mehrere gesteuerte Wellenleiter an mehreren Seitenwänden von Kanälen (4) mit rechteckigem Querschnitt verwendet werden.

11. Gesteuerter Wellenleiter nach Anspruch 1-9

**dadurch gekennzeichnet,**

daß eine ringförmige Hohlkammer (1) umlaufend um einen zylindrischen Kanal (4) verwendet wird.

12. Gesteuerter Wellenleiter nach Anspruch 1,2 und 6-9

**dadurch gekennzeichnet,**

daß der gesteuerte Wellenleiter aerodynamisch günstig gestaltet und nach Art einer Mittelkulissee innerhalb eines großen rechteckigen oder zylindrischen Kanals (4) positioniert ist.

13. Gesteuerter Wellenleiter nach Anspruch 1 und 3-9

**dadurch gekennzeichnet,**

daß statt der schalldurchlässigen Öffnung (2) eine akustisch wirksame Membran oder Platte die Verbindung zum Kanal (4) bildet.)

Die Erfindung betrifft einen gesteuerten akustischen Wellenleiter nach Art einer langgestreckten Hohlkammer (1), der über eine Öffnung (2) an seiner ersten Stirnseite (3) mit einem schallführenden Kanal (4) verbunden ist, wobei die Längsresonanzen der Hohlkammer (1) auf ein zu dämpfendes Schallspektrum abstimmbar sind, indem mittels eines Mikrofons (10), das sich unmittelbar vor der Membran (8) mindestens eines Lautsprechers (9) an der zweiten Stirnseite (6) der Hohlkammer (1) befindet, die Membranschwingungen erfaßt werden und das Mikrofonsignal mit einem Verstärker (11) invertiert und in Abhängigkeit von einem das Schallspektrum im Kanal (4) charakterisierenden Signal eines Sensors (12) verstärkt an den Lautsprecher (9) rückgekoppelt wird.

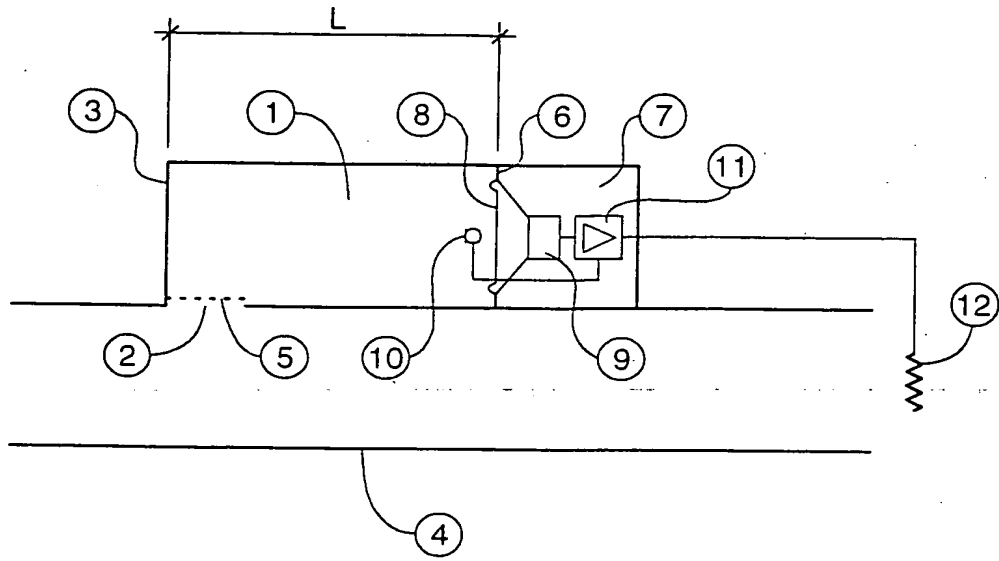


Fig. 1

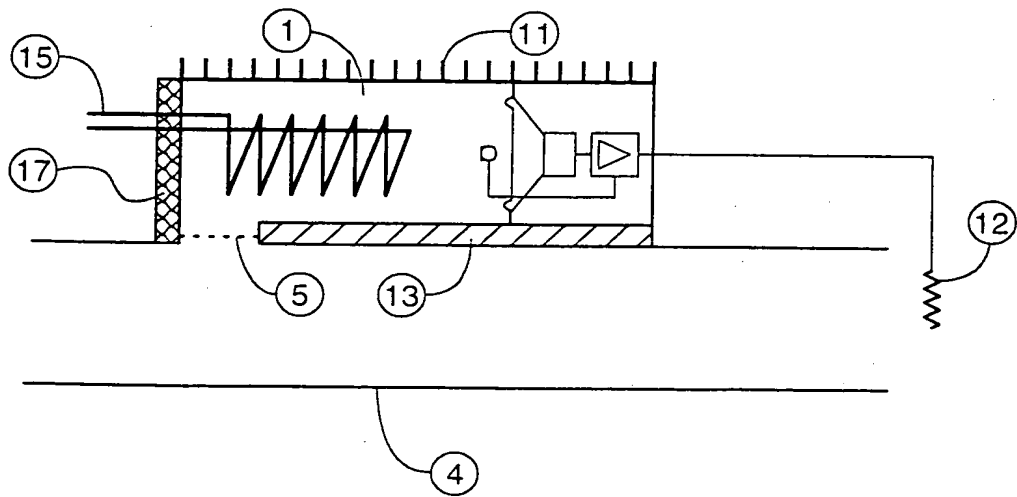


Fig. 2

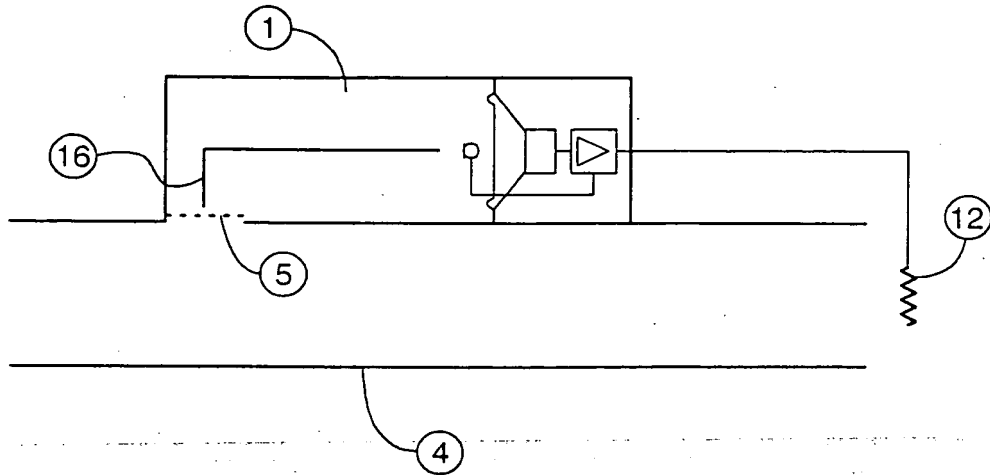


Fig. 3

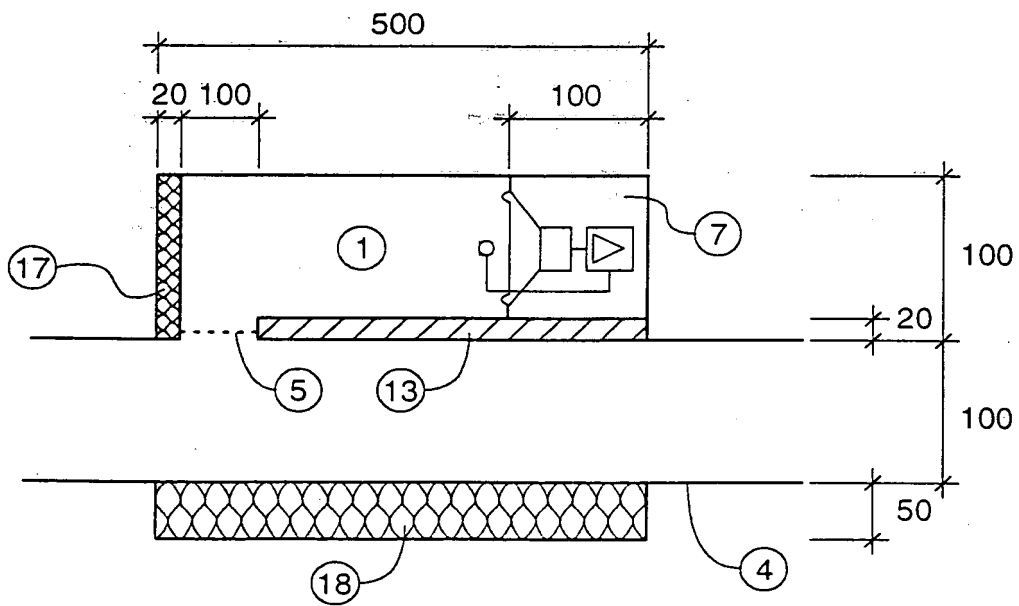


Fig. 4

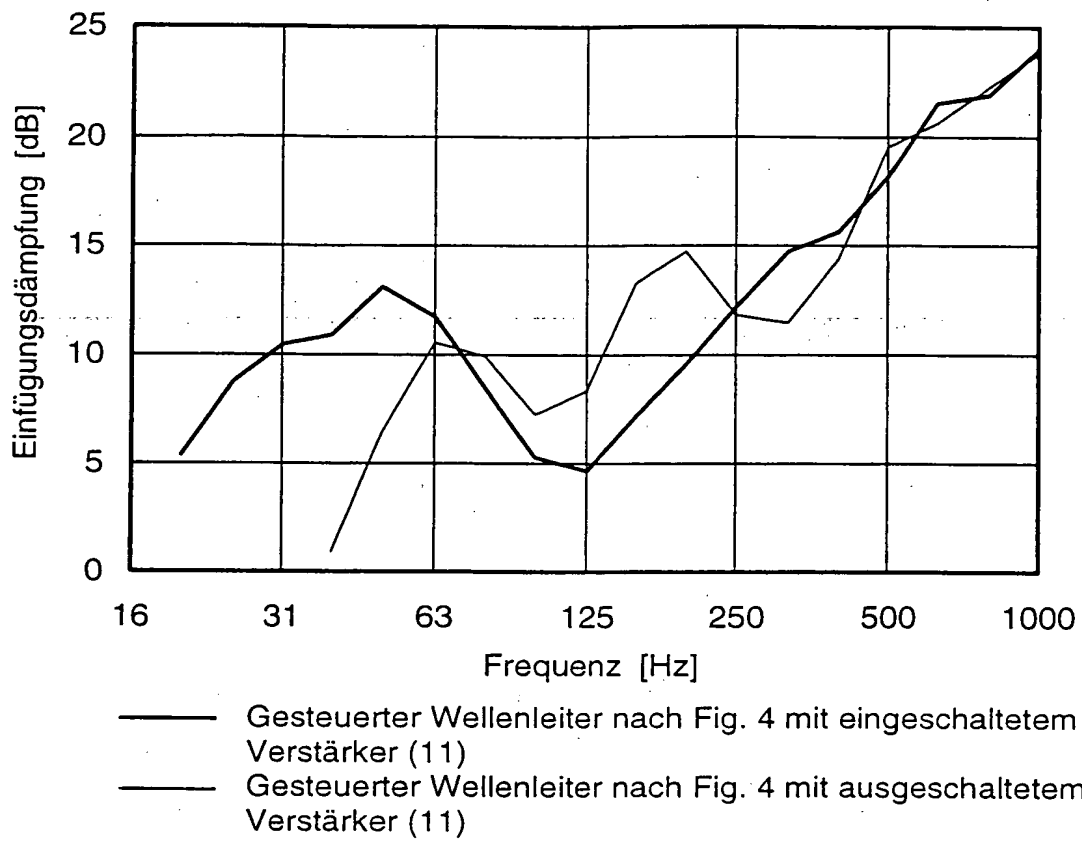


Fig. 5

110100

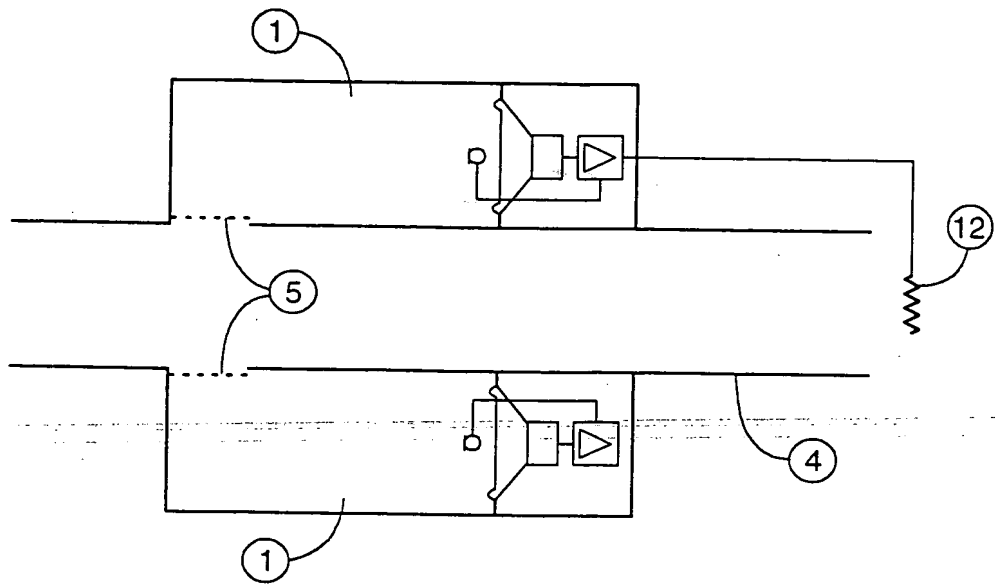


Fig. 9

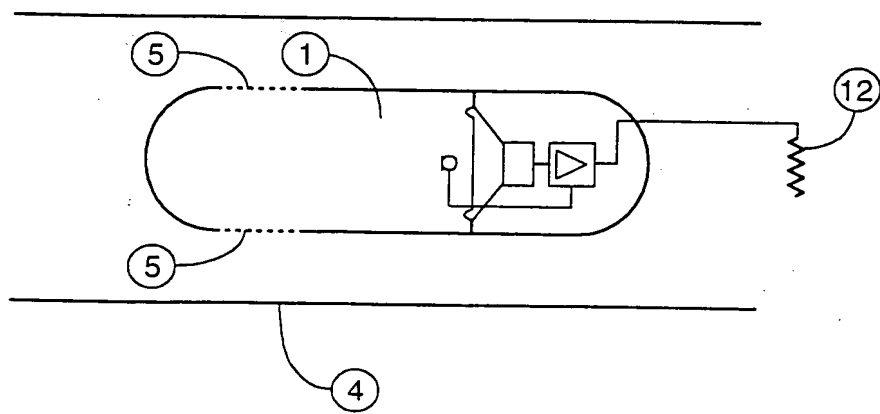


Fig. 10



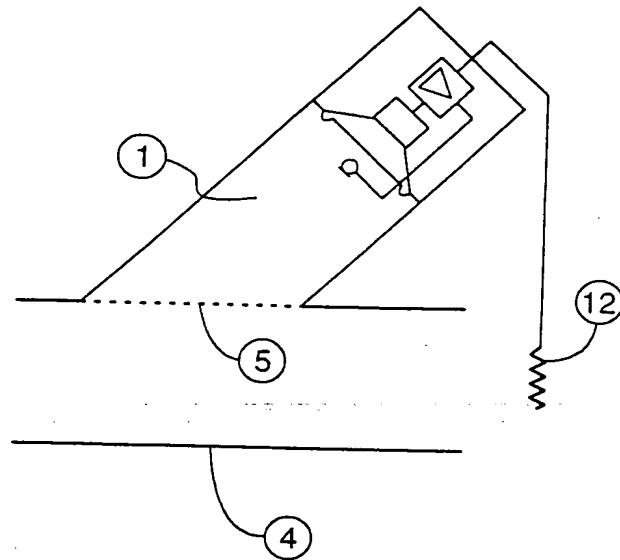


Fig. 7

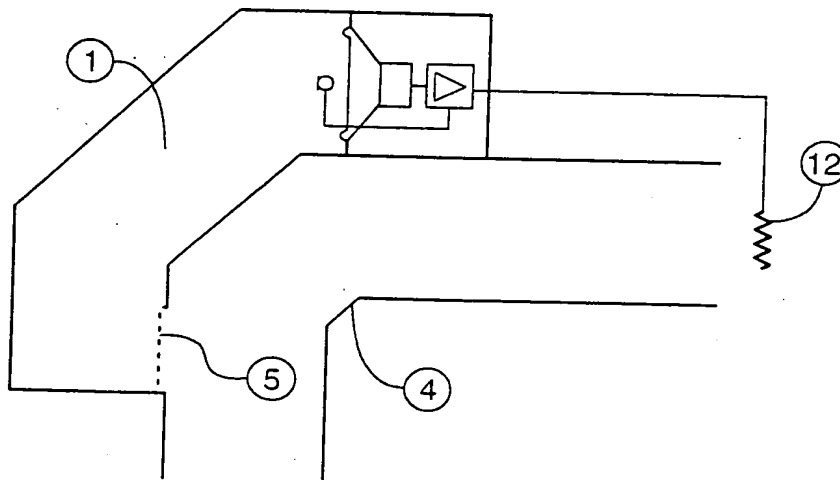


Fig. 8

M 10100

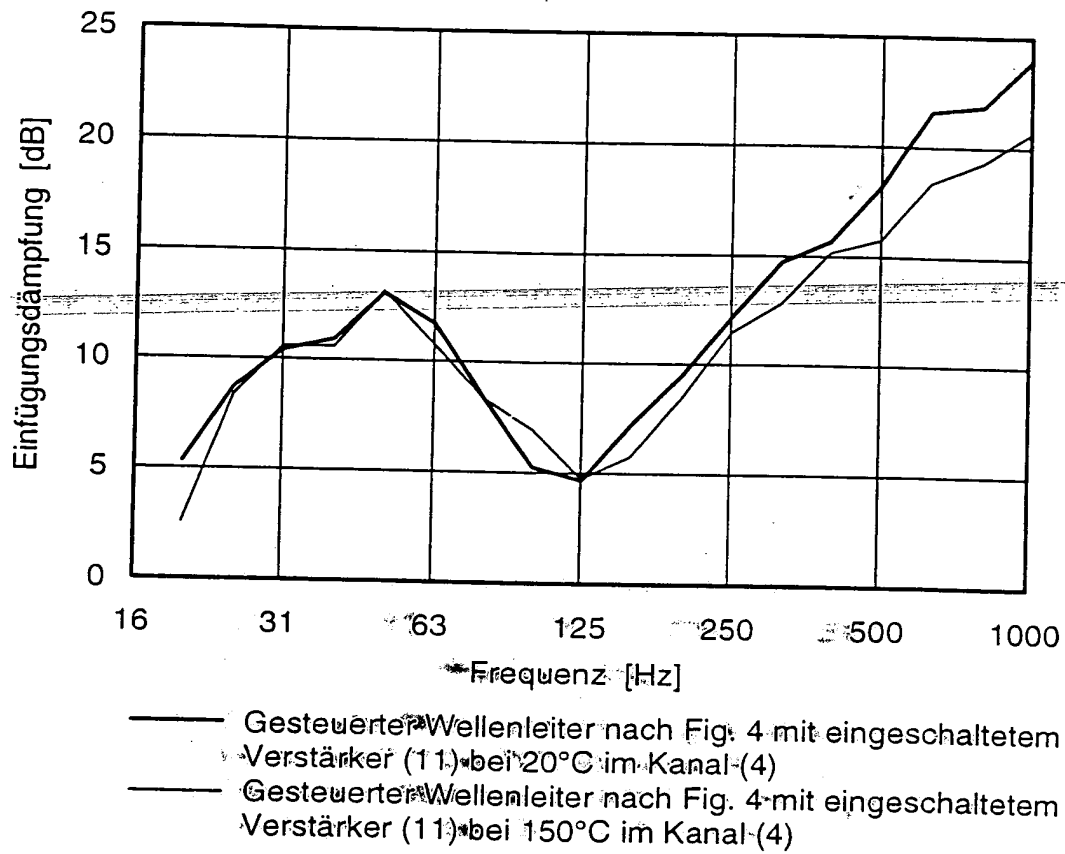


Fig. 6